

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-044641

(43)Date of publication of application : 16.02.1999

(51)Int.Cl.

G01N 21/45
G01N 11/02

(21)Application number : 09-216968

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 29.07.1997

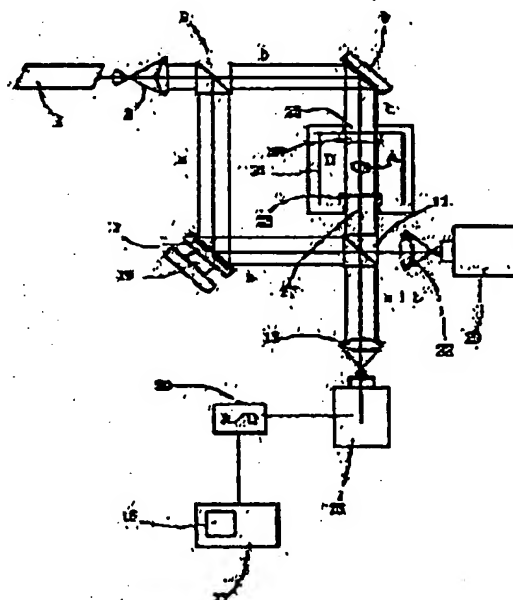
(72)Inventor : SUHARA HIROYUKI
SUZUKI SEIZO
HAYASHI YOSHIAKI
MASUDA KOJI

(54) METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING REFRACTIVE INDEX DISTRIBUTION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method and an apparatus capable of performing nondestructive measurement of the refractive index distribution of an inspected material comprising a GRIN lens (graded refractive index lens), regardless of the shape of the lens.

SOLUTION: An inspected material (A) dipped in a reagent (B) of an approximately equal refractive index is caused to transmit a coherent light emitted from a light source 1, and it is superposed with a reference light and an interference fringe image is formed on an interference fringe detector 15, and a transmitted wave surface $W(x)$ is found from this interference fringe image. On the other hand, a reference transmitted wave surface $W_0(x)$ is computed from design values of the substance to be inspected. Besides, the thickness $d(x)$ in the optical axis of the inspected material is found similarly from the design values of the inspected material, and the refractive index difference $\Delta n(x)$ in an arbitrary cross section is found from the next equations. $\Delta W(x) = W(x) - W_0(x)$, $\Delta n(x) = \Delta W(x) \cdot \lambda / d(x)$ where λ is the wavelength of the coherent light.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

15.07.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-44641

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月16日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 N 21/45

G 0 1 N 21/45

A

G 0 1 M 11/02

G 0 1 M 11/02

B

審査請求 未請求 請求項の数 9 F D (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平9-216968

(22) 出願日

平成9年(1997) 7月29日

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 発明者 須原 浩之

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

(72) 発明者 鈴木 清三

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

(72) 発明者 林 善紀

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

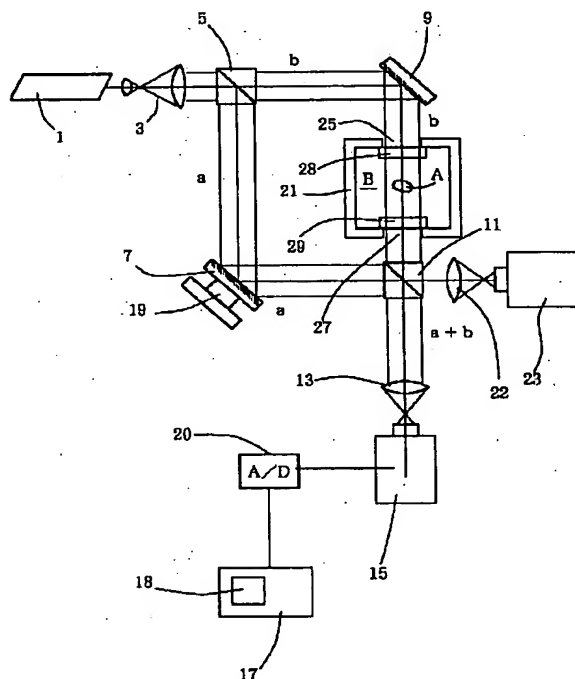
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 屈折率分布の測定方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 GRINレンズを含む被検物の屈折率分布をレンズの形状に拘らず、非破壊で測定できる方法及び装置を提供する。

【解決手段】 光源1からの可干渉光を、屈折率がほぼ一致している試液B中に浸した被検物Aに透過させ、参照光と重畳して干渉縞検出器15上に干渉縞像を結像させ、該干渉縞像から透過波面 $W(x)$ を求める。一方、被検物の設計値から基準透過波面 $W_0(x)$ を算出する。また、同じく、被検物の設計値から被検物の光軸方向の厚さ $d(x)$ を求め、可干渉光の波長を λ としたとき、任意の断面における屈折率差 $\Delta n(x)$ を次式 $\Delta W(x) = W(x) - W_0(x)$
 $\Delta n(x) = \Delta W(x) \cdot \lambda / d(x)$ から求める。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光源からの可干渉光を、基準になる参照波と、屈折率がほぼ一致している試液中に浸した被検物に透過させた被検波とに分け、これら 2 光束を重畳して干渉縞検出器上に干渉縞像を結像させ、該干渉縞像から透過波面を求め、基準となる透過波面及び被検物の設計値から求めた光軸方向の厚さから上記被検物の任意の測定断面についての屈折率差を求めることを特徴とする屈折率分布の測定方法。

【請求項 2】 上記干渉縞と直交する方向に x 座標をとり、上記干渉縞像を計測して得た透過波面を $W(x)$ 、被検物の設計値から求めた基準透過波面を $W_0(x)$ 、被検物の設計値から求めた任意の測定断面についての光軸方向の厚さを $d(x)$ 、可干渉光の波長を λ としたとき、任意の断面における屈折率差 $\Delta n(x)$ を次式

$$\Delta W(x) = W(x) - W_0(x)$$

$$\Delta n(x) = \Delta W(x) \cdot \lambda / d(x)$$
から求めることを特徴とする請求項 1 記載の屈折率分布の測定方法。

【請求項 3】 上記干渉縞と直交する方向に x 座標をとり、上記干渉縞像を計測して得た透過波面を $W(x)$ 、 x 軸上の任意の位置を基準 $x=0$ として上記透過波面から求めた基準透過波面を $W(0)$ 、被検物の設計値から求めた任意の測定断面についての光軸方向の厚さを $d(x)$ 、可干渉光の波長を λ としたとき、任意の断面における屈折率差 $\Delta n(x)$ を次式

$$\Delta W(x) = W(x) - W(0)$$

$$\Delta n(x) = \Delta W(x) \cdot \lambda / d(x)$$
から求めることを特徴とする請求項 1 記載の屈折率分布の測定方法。

【請求項 4】 上記により求めた $\Delta n(x)$ を、次の多項式、

$$\Delta n(x) \approx n_0 + n_1 h + n_2 h^2 + \dots + n_m h^m$$
に展開し、各係数 $n_0, n_1, n_2, \dots, n_m$ を求めることにより、任意の測定断面についての屈折率差 $\Delta n(x)$ を求めることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の屈折率分布の測定方法。

【請求項 5】 上記干渉縞を、被検物を透過した光束を 2 つに分け、両光束を光軸と直交する方向にわずかに横ずらししてシアリング干渉させることにより形成することを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれかに記載の測定方法。

【請求項 6】 設計上、軸対称な屈折率分布を有する被検物を測定する際に、該軸を上記可干渉光の光軸方向に配置することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれかに記載の屈折率分布の測定方法。

【請求項 7】 光源からの可干渉光を 2 光束に分割して重畳する干渉計と、該干渉計内に設けられ被検物及び被検物とほぼ同一の屈折率の試液を充填するためのセルと、干渉計が形成する干渉縞が結像される位置に配置さ

れた干渉縞検出器と、干渉縞検出器に結像した干渉縞から透過波面を計測する透過波面計測部と、被検物の基準となる透過波面を算出するとともに被検物の任意の測定断面における光軸方向の厚さを算出し、これらと上記計測された透過波面から任意の測定断面における被検物の屈折率差を算出する演算装置とを有することを特徴とする屈折率分布の測定装置。

【請求項 8】 上記演算装置が、被検物の設計値から上記基準となる透過波面を算出することを特徴とする請求項 7 記載の屈折率分布の測定装置。

【請求項 9】 上記演算装置が、上記屈折率差を多項式に展開し、各係数を算出することを特徴とする請求項 7 又は 8 記載の屈折率分布の測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、干渉縞の解析により被検物の屈折率分布を測定する技術に関し、特に、GRIN レンズ（屈折率分布型レンズ）の屈折率分布を測定する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、レーザプリンタやカメラなどの光学機器に使用される光学レンズとして GRIN レンズ（屈折率分布型レンズ）が注目されている。GRIN レンズは、屈折率を段階的に変化させることによって、従来は複数枚のレンズを組み合わねばならなかった収差の少ないレンズを、1 枚のレンズで達成できるためである。

【0003】このような GRIN レンズを製作した場合、屈折率の分布が設計どおりになっていないと、光学特性に大きな影響を及ぼし、画質の劣化やボケといった原因につながる。従って、レンズ内部の屈折率分布を高精度に測定し、GRIN レンズが予定通りの特性を有するが否かを評価する必要がある。

【0004】ところで、光学レンズの屈折率を測定する方法としては、精密示差屈折計などを使用して V ブロック法等により屈折角を計測して屈折率を求める方法と、トワイマン・グリーン干渉計等の 2 光束干渉計を使用して干渉縞より屈折率を測定する方法などがあり、また、光学的均質性の測定法としてフィソ干渉計、マハツェンダ干渉計などの 2 光束干渉計を使用して干渉縞像の解析により透過波面を計測し、屈折率分布から光学的均質性を求める方法が知られている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記のいずれの方法においても、被検物、即ち試料を所定形状にカットして高精度に仕上げる必要があり、測定対象の光学素子を破壊しなければならない。特に、GRIN レンズは、屈折率が均一でないので、所望の場所の屈折率分布を計測するためのカットが困難である。

【0006】本発明は、上記の事実から考えられたもの

3

で、GRINレンズを含む被検物の屈折率分布をレンズの形状に拘らず、非破壊で測定できる方法及び装置を提供することを目的としている。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために本発明の屈折率分布の測定方法は、光源からの可干渉光を、基準になる参照波と、屈折率がほぼ一致している試液中に浸した被検物に透過させた被検波とに分け、これら2光束を重畳して干渉縞検出器上に干渉縞像を結像させ、該干渉縞像から透過波面を求め、基準となる透過波面及び被検物の設計値から求めた光軸方向の厚さから上記被検物の任意の測定断面についての屈折率差を求めることを特徴としている。

【0008】また、上記干渉縞と直交する方向にx座標をとり、上記干渉縞像を計測して得た透過波面をW(x)、被検物の設計値から求めた基準透過波面をW₀(x)、被検物の設計値から求めた任意の測定断面についての光軸方向の厚さをd(x)、可干渉光の波長をλとしたとき、任意の断面における屈折率差Δn(x)を次式

$$\Delta W(x) = W(x) - W_0(x)$$

$$\Delta n(x) = \Delta W(x) \cdot \lambda / d(x)$$

から求めることとすることができる。

【0009】または、上記干渉縞と直交する方向にx座標をとり、上記干渉縞像を計測して得た透過波面をW(x)、x軸上の任意の位置を基準x=0としてに上記透過波面から求めた基準透過波面をW(0)、被検物の設計値から求めた任意の測定断面についての光軸方向の厚さをd(x)、可干渉光の波長をλとしたとき、任意の断面における屈折率差Δn(x)を次式

$$\Delta W(x) = W(x) - W(0)$$

$$\Delta n(x) = \Delta W(x) \cdot \lambda / d(x)$$

から求めることとすることもできる。

【0010】さらに、上記により求めたΔn(x)を、次の多項式、

$$\Delta n(x) \approx n_0 + n_1 h + n_2 h^2 + \dots + n_m h^m$$

に展開し、各係数n₀, n₁, n₂, ……n_mを求めることにより、任意の測定断面についての屈折率差Δn(x)を求めることとしてもよい。

【0011】上記の方法は、上記干渉縞を、被検物を透過した光束を2つに分け、両光束を光軸と直交する方向にわずかに横ずらししてシアリング干渉させることにより形成することでも実施できる。また、上記の方法は、設計上、軸対称な屈折率分布を有する被検物を測定する際に、該軸を上記可干渉光の光軸方向に配置することが望ましい。

【0012】本発明の測定装置は、光源からの可干渉光を2光束に分割して重畳する干渉計と、該干渉計内に設けられ被検物及び被検物とほぼ同一の屈折率の試液を充填するためのセルと、干渉計が形成する干渉縞が結像さ

4

れる位置に配置された干渉縞検出器と、干渉縞検出器に結像した干渉縞から透過波面を計測する透過波面計測部と、被検物の基準となる透過波面を算出するとともに被検物の任意の測定断面における光軸方向の厚さを算出し、これらと上記計測された透過波面から任意の測定断面における被検物の屈折率差を算出する演算装置とを有することを特徴としている。

【0013】上記演算装置が、被検物の設計値から上記基準となる透過波面を算出する構成としたり、上記演算装置が、上記屈折率差を多項式に展開し、各係数を算出する構成とすることができる。

【0014】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施例を図面によって説明する。図1は本発明の測定装置の構成を示す図である。同図の装置は、マハツェンダ型の干渉計を基本構成としており、可干渉光としてのレーザ光を射出する光源1と、ビームエキスパンダ3と、光束分割用のビームスプリッタ5と、2つの反射ミラー7、9と、光束重畳用のビームスプリッタ11と、結像レンズ13と、CCDなどからなる干渉縞検出器15と、高速画像処理装置、マイクロコンピュータなどからなる演算処理装置17とを備えている。以上の構成のうち、光源1から結像レンズ13までで、干渉計を構成している。

【0015】光源1より出射するレーザ光は、ビームエキスパンダ3によって光束径を拡大され、ビームスプリッタ5によって直角に曲げられて参照波aとなるレーザ光束と、直進して反射ミラー9に反射された後、被検物Aとしての位相物体を透過して被検波bとなるもう一つのレーザ光束とに分割される。参照波aと被検波bとは、ほぼ1:1となるようにされる。

【0016】反射ミラー7は、ピエゾ素子などによる電気-変位変換素子19により支持され、位相シフト法による干渉縞解析を行うために、参照波aの光路長を波長のオーダーで変更できるように配置されている。

【0017】参照波aは反射ミラー7で反射されてビームスプリッタ11に達し、他方の被検波bは、反射ミラー9で反射され、被検物Aを透過してビームスプリッタ11に達して参照波aと重なり合うが、電気-変位変換素子19により参照波aと被検波bとの光路長には、nπ/2の位相の差ができるように調整される。

【0018】参照波aと被検波bは重畳され、ビームスプリッタ11で分割され、一方は、結像レンズ13に入射し、干渉縞検出器15の撮像面に干渉縞を結像する。干渉縞検出器15には干渉縞と直交する方向に配置されたリニアCCDやアレイ状のセンサを用いる。ビームスプリッタ11で分割された他方は、結像レンズ22を経てモニター用のCCDカメラ23に干渉縞を結像する。

【0019】被検物Aの屈折率は空気の屈折率とはかなり相違しており、被検物の入射面と射出面とが平行でない限り、被検物Aを透過した被検波bは、不規則に収束

・発散する。一方、干渉縞検出器 15 で干渉縞を結像させるには、被検波 b は、ほぼ平行な光束となっていなければならない。そこで、被検物 A がどのような形状であっても、被検物 A を透過した被検波 b がほぼ平行光束になるために、次のような構成としている。

【0020】すなわち、被検物 A は、被検波 b の光路の途中に設けられた容器状のセル 21 内に設置する。セル 21 内には、その屈折率が被検物 A の屈折率とほぼ同一に調合された試液 B を満たしてある。セル 21 の両端、すなわち、被検波 b の入射窓 25 と射出窓 27 は互いに平行で、かつ、それぞれに面精度が高いオプティカルフラット 28、29 を取り付け、液密にシールドしている。したがって、被検物 A と試液 B で充填されたセル 21 は、全体として均一な屈折率の物体となり、かつ、入射面と射出面とが平行なので、セル 21 内を透過した被検波 b は、ほぼ平行な光束となって射出されるようになる。

【0021】干渉縞像は、干渉縞検出器 15 で検出され、光電変換されて電気的な画像信号となり、A/D 変換器 20 によって A/D 変換された後、演算装置 17 に入力される。なお、演算装置 17 は、干渉縞像の解析によって透過波面の計測演算を行う透過波面計測部 18 を含んでいる。より具体的には、この演算装置 17 は、パソコンなどの CPU を有し、ハードディスクなどにインストールされたプログラムにしたがって各種の演算処理を行うものである。

【0022】次に上述の構成よりなる測定装置を利用して被検物 A の屈折率分布を計測する方法を説明する。まず、被検物 A については、外形形状と屈折率の分布データの設計値が分かっているとする。

【0023】被検物 A をセル 21 内にセットし、光源 1 からのコヒーレント光を反射ミラー等を経由して被検物 A に透過させる。光束は参照波 a と被検波 b とに分かれ、干渉縞検出器 15 上に干渉縞像を結像する。そして、干渉縞検出器 15 が出力する干渉縞像の画像信号を演算処理装置 17 に取り込んで演算処理装置内部の透過波面計測部 18 により干渉縞像の解析を行い、透過波面 $W(x)$ を計測する。ここに、 x 軸は干渉縞と直交する方向、すなわち、干渉縞検出器 15 にリニア CCD を用いた場合、その長さ方向が x 軸となる。

【0024】演算処理部 17 は、入力されている被検物 A の屈折率分布の設計値と、外形の設計値とから、理論的に算出される透過波面 $W_o(x)$ を算出して基準の透過波面とし、同時に、被検物 A の外形形状から光軸方向の肉厚 $d(x)$ を求める。そして、これらから次式によって屈折率差 $\Delta n(x)$ を算出する。

$$\Delta W(x) = W(x) - W_o(x)$$

$$\Delta n(x) = \Delta W(x) \cdot \lambda / d(x)$$

ここで、 λ は光源から射出される光線の波長である。また、 $\Delta n(x)$ は被検物 A の光軸方向の平均屈折率とな

る。

【0025】次に、外形形状は分かっているが、屈折率分布データが平均値でしか分からない場合は、以下の方法で行う。外形形状データによりあらかじめ光軸方向肉厚 $d(x)$ を計算する。演算装置 17 は、上述したのと同じ方法で求めることができる。そして、被検物 A に光束を透過して干渉縞検出器 15 上に干渉縞像を結像させる。干渉縞検出器 15 のリニア CCD の出力から透過波面計測部 18 が透過波面 $W(x)$ を計測する。そして、リニア CCD の任意の位置を $x=0$ として基準の透過波面 $W(0)$ を求め、次式により $\Delta n(x)$ を算出する。

$$\Delta n(x) = (W(x) - W(0)) \cdot \lambda / d(x)$$
 こうして任意の測定断面について、相対屈折率差 $\Delta n(x)$ を算出することができる。

【0026】図 2 はこのようにして求めた結果の一例を示す図である。同図の縦軸は屈折率差 ($\Delta n(x)$)、横軸は測定断面 (x 軸) を表している。図 3 は Conic 型の被検物 A の屈折率分布状態を示す斜視図である。同図において、 x 軸は干渉縞検出器 15 のリニア CCD の長さ方向で z 軸は光軸方向である。屈折率の異なる領域をハッチングで示している。図示の都合から、屈折率がハッチングの境界で突然に生じている（階段状に変化する）ように表されているが、実際には、全体として滑らかに屈折率が変化していく。

【0027】上述した実施例からも分かることであるが、本発明では、 $\Delta n(x)$ は、光軸に沿った厚み方向に積算された透過波面から算出される。したがって、光軸方向に屈折率が分布している場合は、分布状態を把握できない。ところが、図 3 に示すような Conic 型の被検物 A では、光軸方向 (z 軸方向) に屈折率の分布をもたないので、本発明の屈折率分布の測定には最適である。

【0028】また、本発明では、被検物 A を屈折率が殆ど同じ試液 B 中に浸しているの、外形形状の加工誤差や設置誤差があっても、測定精度にほとんど影響を及ぼさないことも大きな特徴である。また、上の式では x の 1 次式であるが $x \cdot y$ による 2 次元計測も可能である。

【0029】つぎに、上記により算出した $\Delta N(x)$ を多項式近似で展開（テイラー展開）する。

$$\Delta n(x) \approx n_0 + n_1 h + n_2 h^2 + \dots + n_m h^m$$

(h は、 x 座標の任意の位置、または測定断面の位置 (像高))

そして、各係数 $n_0, n_1, n_2, \dots, n_m$ を求めることにより、 x 軸上の位置の座標が決まれば、その位置における屈折率分布を直ちに求めることができ、光学設計シミュレーションなどにフィードバックしやすくなり、開発効率の向上につながる。

【0030】被検物 A 内での屈折率差が大きい場合や屈折率勾配が大きい場合には、干渉縞の本数が多くなり、干渉縞が密になって、干渉縞検出器 15 の分解能を超え

てしまうことがある。

【0031】図4は、このような場合でも計測可能な装置の構成を示す図である。同図の装置は、シアリング干渉計を基本構成としている。すなわち、光源1から射出された光線はビームエキスパンダ3で広げられ、平行光束となってセル21内の試液Bに浸った被検物Aを透過する。被検物Aを透過した光線はハーフミラー31と反射ミラー32とで反射される。反射ミラー32には、電気-変位変換素子33が設けられ、反射ミラー32を矢印の方向に微小な距離だけ移動できるようになっている。電気-変位変換素子33で反射ミラー32を動かすと、反射ミラー32で反射される光束（点線）と、ハーフミラー31で反射される光束（実線）との間には、光軸と垂直な方向に微小な距離のずれ（このずれを「シア」という）が生じる。これによってシアリング干渉を起こすことができる。シアを増減することによって、干渉縞の本数を増減でき、干渉縞検出器15の分解能の範囲内の干渉縞像を結像させることが可能となるものである。

【0032】図4において、干渉計にビームスプリッタ11を設けて重畳された光束を2つに分割し、一方は干渉縞検出器15に結像させ、他方は、モニター用の2次元CCDカメラ23に干渉縞を結像させている。

【0033】図3に示すラジアルGRINレンズにおいては、ラジアルGRINの一般式（近似式）は $N(r) = N_0 \{1 - (1/2)Ar^2\}$ で表される。

【0034】そして、コリメートレンズに用いられるものでは例えば直径φ4で中心と周辺の屈折率差が0.075あるものも存在する。この場合の透過波面収差は $0.075 \times 4 = 0.3$ となる。これはマハツェンダ干渉計だと約1000本の干渉縞が生じることを意味し、本数が多いことから解析は困難が予想される。これに対してシアリング干渉計でシア量 $S = 0.001\text{mm}$ とすると計算上1本程度の干渉縞ですむことになり十分解析可能である。さらに、被検物AがラジアルGRINレンズの場合には、被検物Aを図3のように設置することにより予想される透過波面 $W_0(x)$ の計算がしやすくΔ

$W(x)$ が算出しやすくなる。

【0035】

【発明の効果】以上に説明したように本発明によれば、被検物を屈折率がほぼ同じ試液中に浸しているのもので表面での散乱や屈折の影響を抑えることができ、透過波面と設計データからGRINレンズの屈折率分布を計測することが可能となる。

【0036】屈折率分布をテイラー展開して各係数を求めておくことにより、任意の位置における屈折率分布を簡単に算出することができるので、光学設計シミュレーションへのフィードバックが容易になる。

【0037】シアリング干渉計で透過波面を計測すると、屈折率差や屈折率勾配の大きなGRINレンズに関してもシア量（横ずらし量）を調整することにより感度を変えて計測することができる。本方式を採用することによりラジアルGRINレンズの屈折率分布および設計データからの屈折率分布差を計測することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の屈折率分布を測定する装置の構成を示す図である。

【図2】屈折率分布の状態を示す線図である。

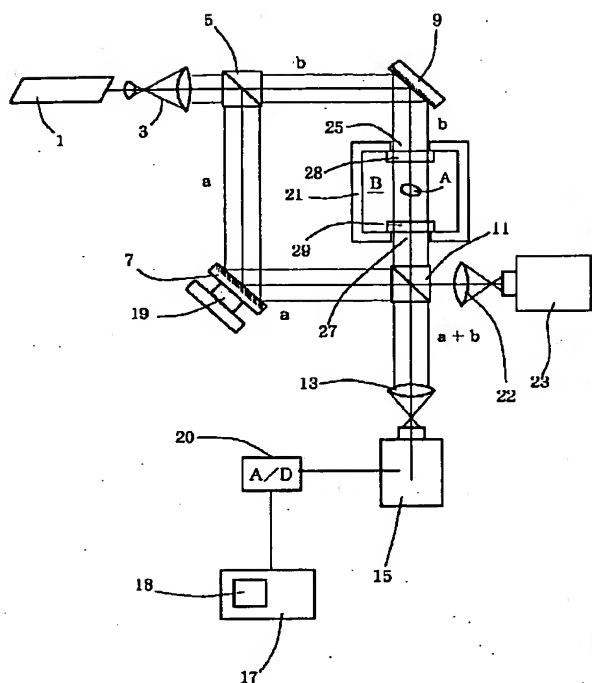
【図3】ラジアルGRINレンズの屈折率分布の例を示す斜視図である。

【図4】本発明の他の実施例の構成を示す上面図である。

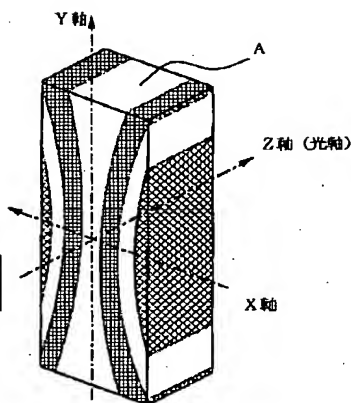
【符号の説明】

A	被検物
B	試液
a	参照波
b	被検波
1	光源
15	干渉縞検出器
17	演算装置
18	透過波面計測部
21	セル

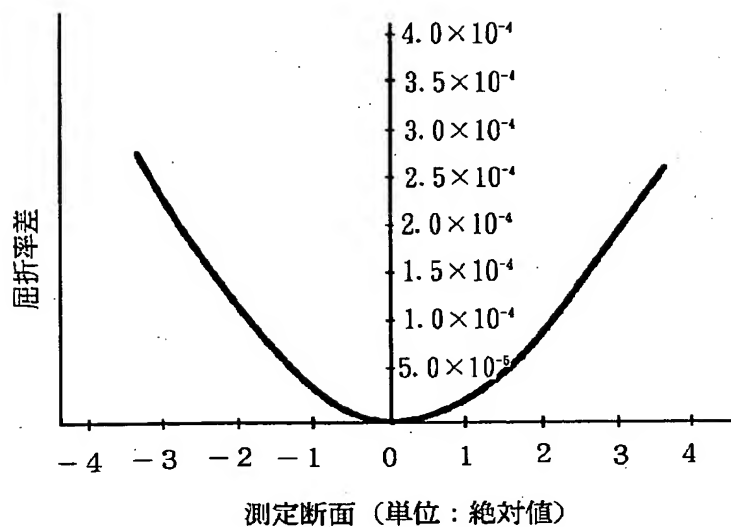
【図1】



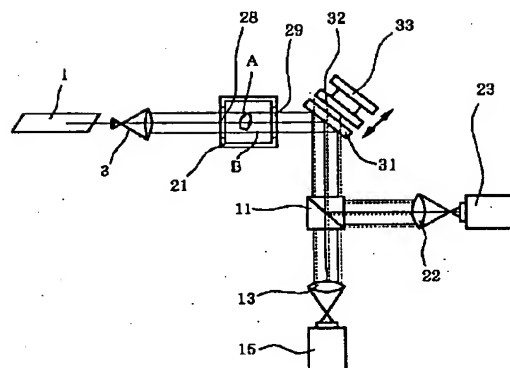
【図3】



【図2】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 増田 浩二
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
会社リコー内